

## ДІАГНОСТИКА НЕЛІНІЙНИХ КОЛИВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Дюжаєв В.П., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел.(0619)-42-11-72, e-mail: [vdyuzaev@i.ua](mailto:vdyuzaev@i.ua)

*Анотація* – в роботі розглянуто та апробовано методику розпізнавання нелінійних стохастичних коливальних систем на прикладі дослідження динаміки взаємодії корпусу плуга на пружній підвісці з ґрунтом, що ґрунтується на результатах експериментів в умовах нормального функціонування системи.

*Ключові слова* – ідентифікація, динаміка взаємодії, вібраційний обробіток ґрунту.

*Постановка проблеми.* Важливе коло питань які виникають у механічних системах, що призначені для створення корисних вібрацій, є виникнення флуктаційних переходів або стрибків з одного стаціонарного стану в інший. Урахування вимушених збурень які реально діють у вібраційних машинах необхідно у випадку рішення задач оптимізації робочих режимів та оптимізації параметрів машин у зв'язку з тим, що оптимальні характеристики руху досягаються на кордоні області існування періодичного руху. З метою правильного складання математичної моделі динамічної системи корпус плуга – ґрунт, або визначення кордонів області стійкості системи, або визначення головного джерела вібрацій, необхідно виконати задачу ідентифікації випадкових коливань, яка виникає при діагностиці коливальних систем.

*Аналіз останніх досліджень.* В роботі М.Ф Діментберга [1] розглядаються коливання системи з жорсткою кубічно нелінійною силою, що відновлює при вузькополосному випадковому збудженні, також вивчається вплив випадкових флуктуацій власної частоти системи з періодичним зовнішнім збудженням на середню амплітуду коливальної системи, також розглянуто систему з періодичним параметричним та випадковим зовнішнім збудженням, також вивчаються коливання квазілінійної системи, що одночасно збуджується зовнішніми та періодичними випадковими збудженнями.

*Формулювання цілей статті.* В роботі поставлено задачу на основі дослідження динамічної системи в умовах нормального функціонування визначення належності об'єкту дослідження до коливальної системи того чи іншого типу.

*Основна частина.* Для рішення цієї задачі необхідно мати статистичний критерій розпізнавання систем різноманітного типу. Автором [1] рекомендовано визначати належність коливальної системи до автоколивальних, або вимушених, або параметричних коливань за допомогою критерію щільності вірогідності квадрата амплітуди процесу, що досліджується. В деяких випадках можливість ідентифікації виду коливальних систем удається виконувати тільки на основі спостережень тривалої реалізації процесу. Загальне число  $N$  точок вимірів повинно бути вибраним достатньо великим, інакше можливо випустити ділянку немонотонності. Також при достатньо густому розміщенні точок вимірів послідовність вимірів значень функції практично завжди буде немонотонною у зв'язку з похибками вимірів. З метою оптимального вибору точок вимірів М.Ф.Діментбергом рекомендовано евристичний алгоритм під назвою «критерій значимої різниці» [1]:

- вибирається достатньо велике число  $N$  точок вимірювання  $x_i$  таким чином щоб наявність ділянок немонотонності функції  $P(x)$  в рамках

кожного з підінтервалів  $(x_{i+1} - x_i)$ ,  $i = 1, \dots, N$  можливо вважати маловірогідним;

- визначаються послідовні різниці  $(p_i - p_{i+1})$  значень функції  $p_j = p(x_j)$ ,  $j = 1, \dots, N$ . Різниця вважається значимою, коли  $[p_j - p_{j+1}] > c \cdot p_j$ , де  $c$  – прийнятий поріг точності (прийнятий  $c = 5\%$ );
- якщо різниця пари значень  $(p_k, p_{k+1})$  не буде значимою  $(p_k - p_{k+1}) < c \cdot p_k$ , то відповідні точки вимірів об'єднуються: визначається середнє значення  $1/2(p_k - p_{k+1})$ , яке порівнюється з сусідніми значеннями функції  $p_{k+1}$  и  $p_{k+2}$ ;
- в результаті послідовного об'єднання будується нова послідовність значень функції  $p'_k$ ,  $k = 1, \dots, M$  ( $M < N$ ) усі члени якої відповідають умові значимої різниці;
- рішення про наявність або відсутність властивості монотонності функції  $P(x)$  виноситься на основі результатів перевірки наявності або відсутності цієї властивості у нової послідовності  $P'_k$ .

Таким чином для побудови математичної моделі коливального процесу методом ідентифікації необхідно:

- 1 – записати реалізації вихідного процесу – тягового опору робочого органу в умовах нормального функціонування;
- 2 – обробити інформацію, получив в результаті статистичну характеристику процесів – щільність вірогідності квадрату амплітуди;
- 3 – у відповідності критерію розпізнавання визначити до якого типу коливальних систем відноситься процес, що досліджується.

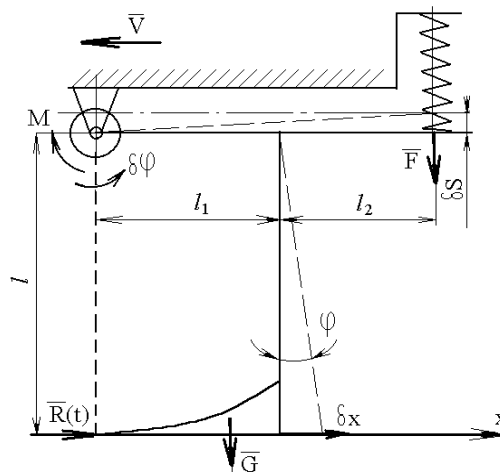


Рисунок 1 Схема взаємодії корпусу плуга з ґрунтом.

Розглянемо корпус плуга як динамічну систему на вхід якої поступає випадкова дія, що обумовлена опором ґрунту. Результат цієї дії – реакція системи у вигляді тягового опору. Аналіз спектральної щільності реалізацій опору ґрунту  $y(t)$  та тягового опору робочого органу  $x(t)$  показав, що опір ґрунту є широкополосним процесом порівняно з характерною шириною спектру коливального процесу на виході системи [2]. В роботі [3] автором рекомендовано розрізняти типи коливальних систем за допомогою відмінності в щільності вірогідності амплітуди процесів, що досліджуються, враховуючи, що амплітуди випадкових коливань лінійних систем підпорядковується розподілу Релея, але при автоколиваннях квазілінійних систем з однією ступеню волі з малими випадковими діями амплітуда коливань розподілена по гаусовському закону. Розглянемо можливі механізми збудження коливань системи, що досліджується. В результаті експериментального дослідження оброблено реалізації опору ґрунту і реалізації тягового опору робочого органу та отримано щільність вірогідності квадрата амплітуди, яка згладжується у відповідності «критерію значимої різниці». Щільність вірогідності  $W(V)$  квадрата амплітуди визначається експоненціальною залежністю

$$W(V_i) = \frac{1}{2\sigma^2} \exp\left(-\frac{V_i}{2\sigma^2}\right), \quad (1)$$

де  $\sigma^2$  - дисперсія процесу;

$V_i = A_i^2$  – квадрат амплітуди процесу  $x(t)$ .

Рішення про належність системи до того чи іншого класу вибираємо по результатам перевірки послідовності, що отримано, на монотонність. Необхідною умовою відсутності автоколивань є властивість убуття знайденої функції  $W(V_i)$ . Інформація про властивості об'єкту збирається по результатам нормального функціонування, коли він піддається дії природних

збурень. Перевіряємо до якого виду належить процес, що досліджується до вимушених коливань або до автоколивань, що збудженні випадковою дією.

Для цього скористуємося критерієм монотонності функції  $W(V)$ . В якості ознаки використаємо різницю в щільності вірогідності квадрата амплітуди процесу  $x(t)$ .

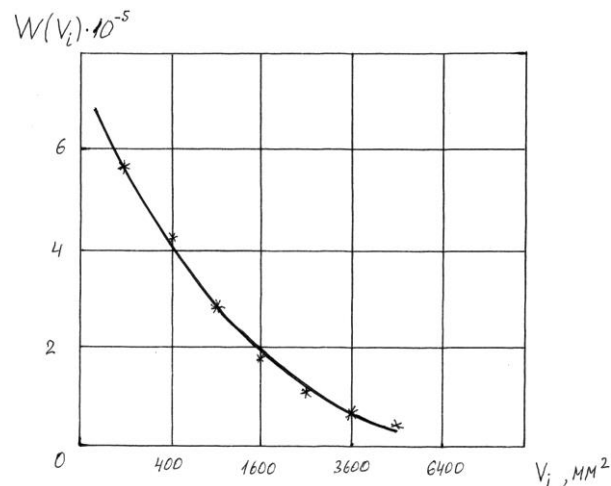


Рисунок 2 - Графік щільності вірогідності квадрату амплітуди  $W(V_i)$  тягового опору корпусу плуга.

Якщо щільність вірогідності  $W(V_i)$  процесу  $x(t)$  має інтервал зростання на полу осі  $x > 0$  це означає, що процес є автоколивальним, якщо щільність вірогідності має властивість спадання функції  $W(V_i)$  процес  $x(t)$  викликано винятково дією випадкових збурень.

*Висновки.* Результати якісної ідентифікації процесу, що досліджується (рисунок 2), визначають, що процес коливань тягового опору корпусу плуга відноситься до систем з випадковим зовнішнім збуренням.

#### *Література*

1. Диментберг М.Ф. Нелинейные стохастические задачи механических колебаний //М.Ф.Диментберг – М.: Наука, - 1980. – 368 с.
2. Дюжаев В.П. Экспериментальное исследование корпуса плуга на упругой подвеске // В.П.Дюжаев.- Праці ТДАТУ.- Вип.8.-Т.4.- Мелітополь. - 2008.- С.88-95.
3. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику.//С.М.Рытов – М.: Наука – 1966.- 123 с.

# DIAGNOSTICS OF NONLINEAR VIBRATION SYSTEMS

V. Dyuzhayev

Abstract - We consider the recognition and tested method of nonlinear stochastic oscillatory systems for example to study the dynamics of interaction plowing on an elastic suspension with soil that is based on the results of experiments in conditions of normal operation of the system.